12. コメント「非線型化学反応」

九大 理　西山賢一

生命現象を分子運動のレベルから見ていこうとする時，化学反応の重要性をいつも念頭におかねばならない。そして，平衡から離れた所で営まれる生体反応においては，非線型化学反応が重要な役割を占めていることが予想される。ここでは，生体内の化学物質の濃度変化についての，現象論的なアプローチを試み，特に生体運動系に適用してみる。

初めに，化学物質 1，2，…n の濃度 $m_1, m_2, \cdots, m_n$ の kinetic equations を次のように書き表わす。

$$\frac{\partial m_i(\vec{r}, t)}{\partial t} = C_i(m_1, \cdots, m_n) + \mu_i \nabla^2 m_i + b_i(m_i^0 - m_i). \tag{1}$$

ここで右辺の一項目は化学反応による項，二項目は拡散による項で μ_i は拡散係数，三項目は粒子槽との相互作用を表わす項で m_i^0 は粒子槽での i の濃度，又 b_i は定数である。化学物質が polyelectrolyte であるなら，さらに電磁場との相互作用を加えねばならないが，今は無視する。

さて，Turing（1952年），Prigogine 学派（1967年〜），Scriven ら（1966年〜）は(1)と類似の式を用いて均一系から不均一なパターンやリズムが形成される過程を調べてきた。われわれはもっと具体的に生体運動系をとり上げよう。筋収縮のダイナミックスについては清水博氏から詳しく話され，アクチン－ミオシン－ATP 系が主役であった。さらに植物（例えばシャジクモ）や粘菌の原形質流動でもこの系が主役をなしているらしい証拠が出てきている。そこで，生体運動系に共通な分子機構が発見される可能性もある。

今，アクチン－ミオシン－ATP 系を非線型化学反応の視点から取り上げ，(1)式を用いて運動のない状態と定常的に運動が出る状態を導びいてみよう。ミオシンは単独で ATPase をもち，さらにアクチンの存在下で ATPase は飛躍的に大きくなる。

西山賢一

アクチン－ミオシン(actomyosin ATPase)をEと表わし，ATPのエネルギーをもらって活性化した状態をE^*とする。清水氏が話されたように，ミオシンは2つの頭をもっている。これを考慮して化学反応の最も簡単なモデルは次のようになろう。

$$ATP + E + E^* \xrightarrow{k_1} 2E^*, \tag{2}$$

$$E^* \xrightarrow{k_2} E + ADP + P_i \tag{3}$$

ATP, E, E^*の濃度をそれぞれm_1, M, m_2とし，ATPは粒子槽につかっており，又$k_1' \equiv k_1 M \simeq$定数として(1)を適用すると，

$$\frac{\partial m_1}{\partial t} = -k_1' m_1 m_2 + b_1 (m_1^\circ - m_1), \tag{4}$$

$$\frac{\partial m_2}{\partial t} = k_1' m_1 m_2 - k_2 m_2 , \tag{5}$$

が得られる。ここで拡散項は物理的意味が不明なので除いた。(4), (5)式の定常値は次のように2つ与えられる。

$$\text{i)}\ m_1 = m_1^\circ,\quad m_2 = 0 \tag{6}$$

$$\text{ii)}\ m_1 = k_2 / k_1',\quad m_2 = \frac{b_1}{k_2}\left(m_1^\circ - \frac{k_2}{k_1'}\right). \tag{7}$$

さらに(4), (5)を(6) or (7)の回りに線型化して定常解の安定性が調べられ，

$$\begin{cases} k_1' m_1^\circ < k_2 \text{ で i) が安定,} \\ k_1' m_1^\circ > k_2 \text{ で ii) が安定,} \end{cases}$$

という結果が導びかれる。さて，(3)の化学反応の過程でE^*の自由エネルギーが運動エネルギーと熱エネルギーに変えられるから，i）は運動のない状態に対応し，ii）は運動が定常的に起っている状態に対応すると言えよう。